

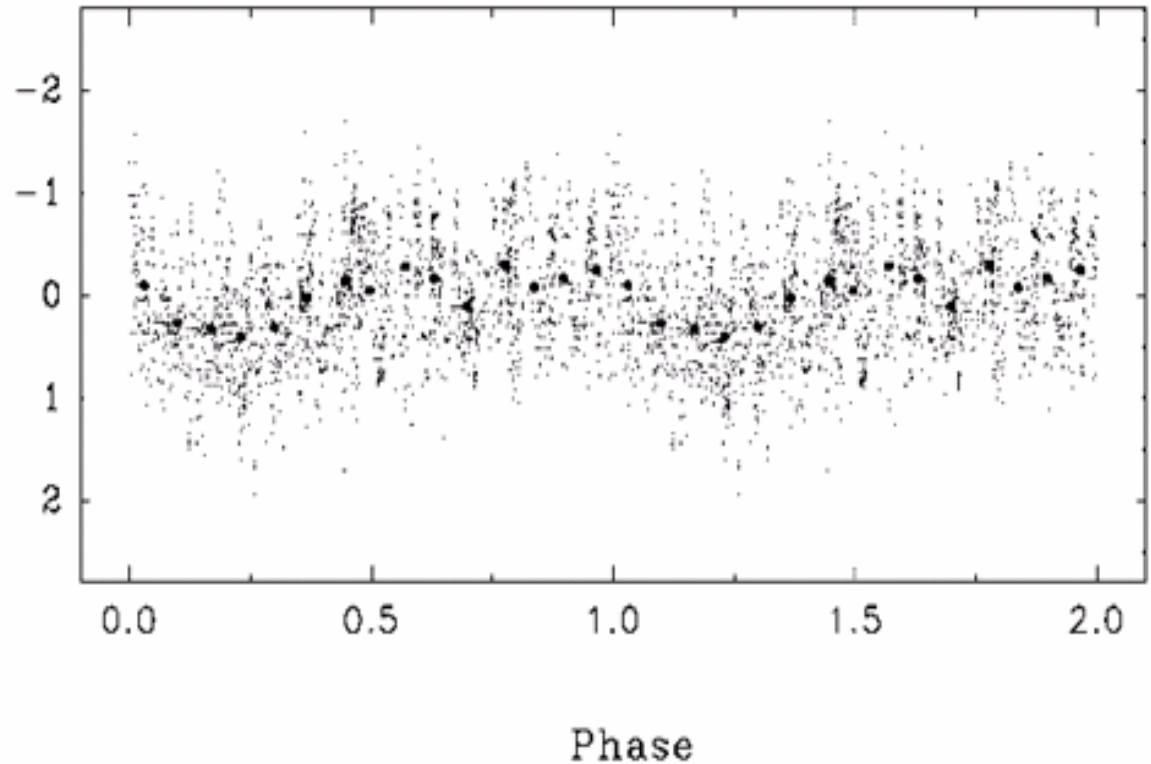
**Газодинамические процессы в молодых  
двойных системах с маломассивными  
компаньонами как источник циклических  
вариаций околозвездной экстинкции**

**Н.Я. Сотникова,  
В.П. Гринин и Т.В. Демидова**

# (0) Мотивация

## Циклическая активность звезд типа UX Ori:

Шевченко и др.  $\Delta V$   
(1993) -  
**протокометы,**  
Гринин и др.  
(1998) -  
**маломассивный  
компаньон,  
протопланета**



Кривая блеска CO Ori, период 12.4 yr,  
Ростопчина и др. (2006)

- (1) Метод и модель**
- (2) Структура СВ дисков**
- (3) Вариации экстинции**
- (4) Приложения (кривые блеска)**
- (5) Выводы**

# (1) Метод и модель

Метод и модель - Artymowicz, Lubow (1994)

## SPH уравнения

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = -m \sum_j \left( \frac{2\sqrt{P_i P_j}}{\rho_i \rho_j} + Q_{ij} \right) \times \nabla_i W(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j; h) - \nabla \varphi(\mathbf{r}_i),$$

$$P = c^2 \rho,$$

## Численная вязкость

$$Q_{ij} = (-\alpha c \mu_{ij} + \beta \mu_{ij}^2) / \rho_{ij},$$

$$\mu_{ij} = h(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j)(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) / (r_{ij}^2 + \eta^2),$$

$$\eta \simeq 0.1h$$

$$\alpha \simeq 1$$

$$\beta = 0$$

## Эффективная вязкость

$$\nu \sim \alpha c h$$

## Параметры модели

- **Орбита**

$$e = 0 - 0.5$$

- **Двойная система**

$$q = M_2 / M_1 = <0.01, 0.03>, 0.1 - 1.0$$

## Параметры

- **СВ диск**

$$N = 50\,000 - 75\,000$$

$$R_{\text{out}} = 6 a \text{ (} a \text{ - большая полуось)}$$

$$T_{\text{end}} \sim \text{до to } 600 P_{\text{orb}}$$

- **Вязкость**

$$c = (0.01 - 0.08) \Omega_{\text{orb}} a$$

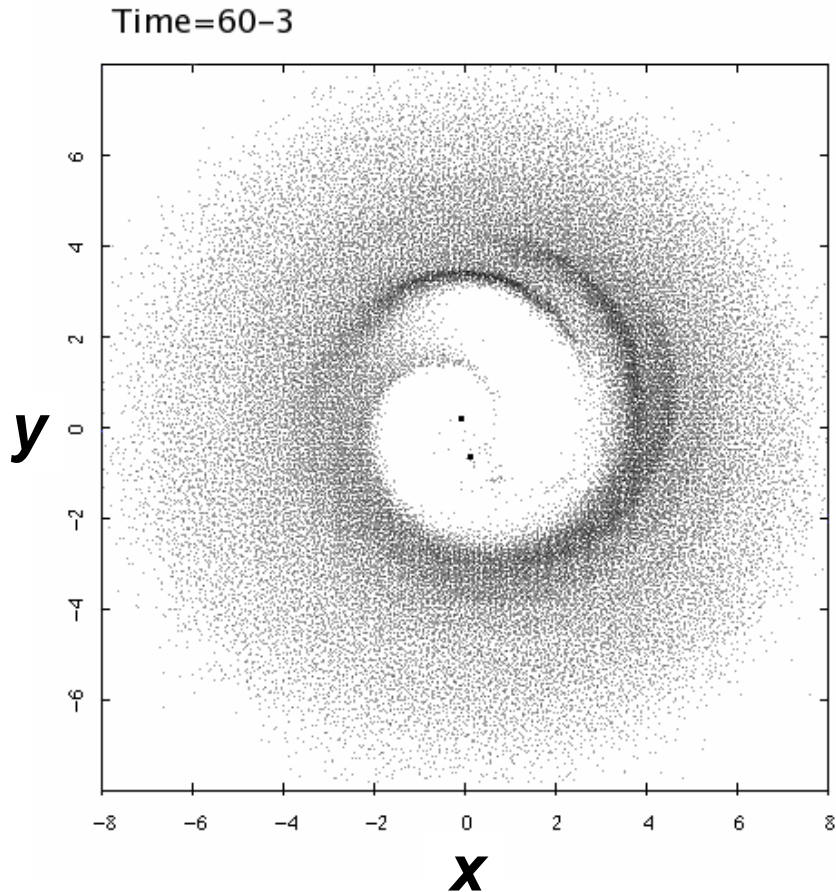
0.01 - "холодный" диск

0.05 - "тёплый" диск

0.08 - "горячий" диск

## (2) Структура СВ диска

### Глобальная асимметрия



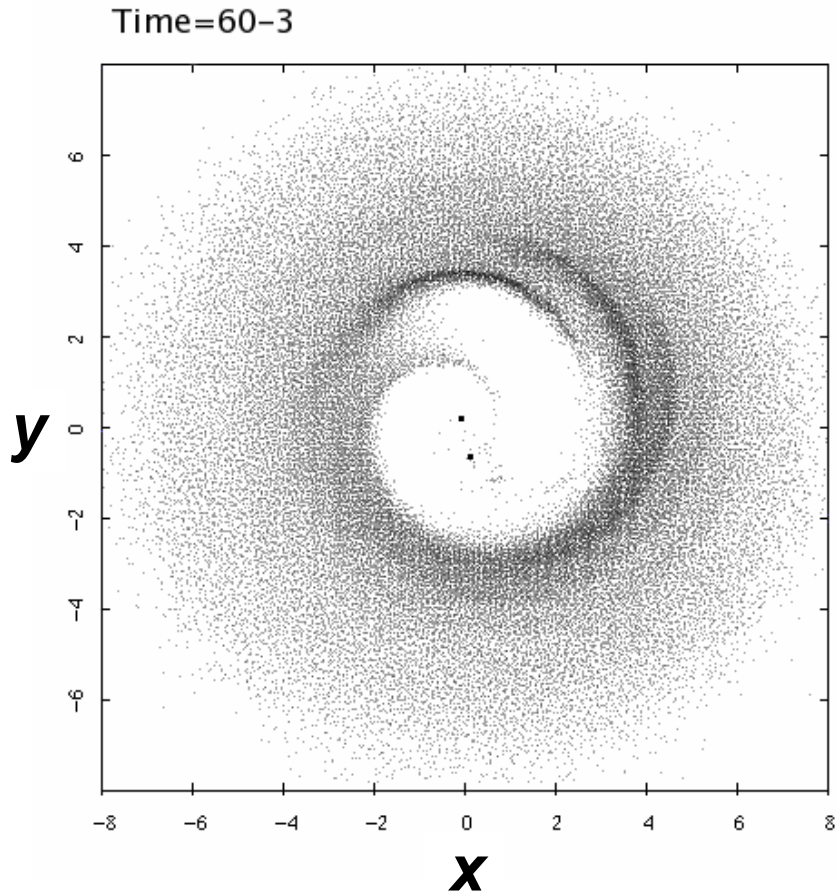
$$M_2 : M_1 \sim 1 : 3$$

$e = 0.5$ ; "тёплый" диск

[впервые:  
Artymowicz, Lubow (1994)]

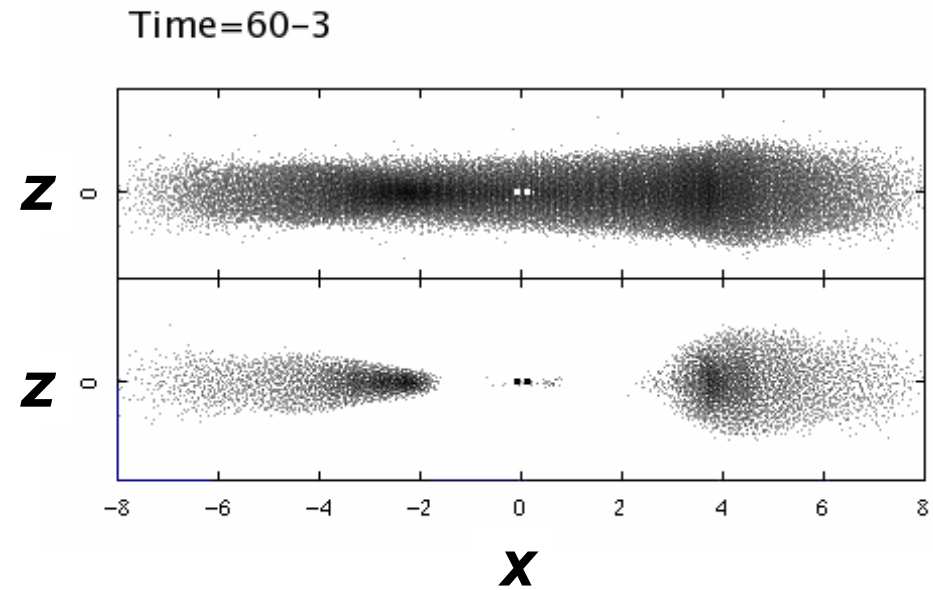
## (2) Структура СВ диска

### Глобальная асимметрия



$$M_2 : M_1 \sim 1 : 3$$

$e = 0.5$ ; "тёплый" диск



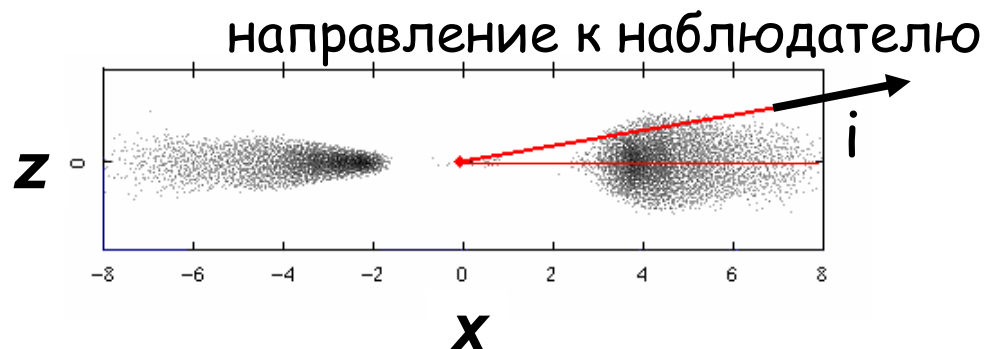
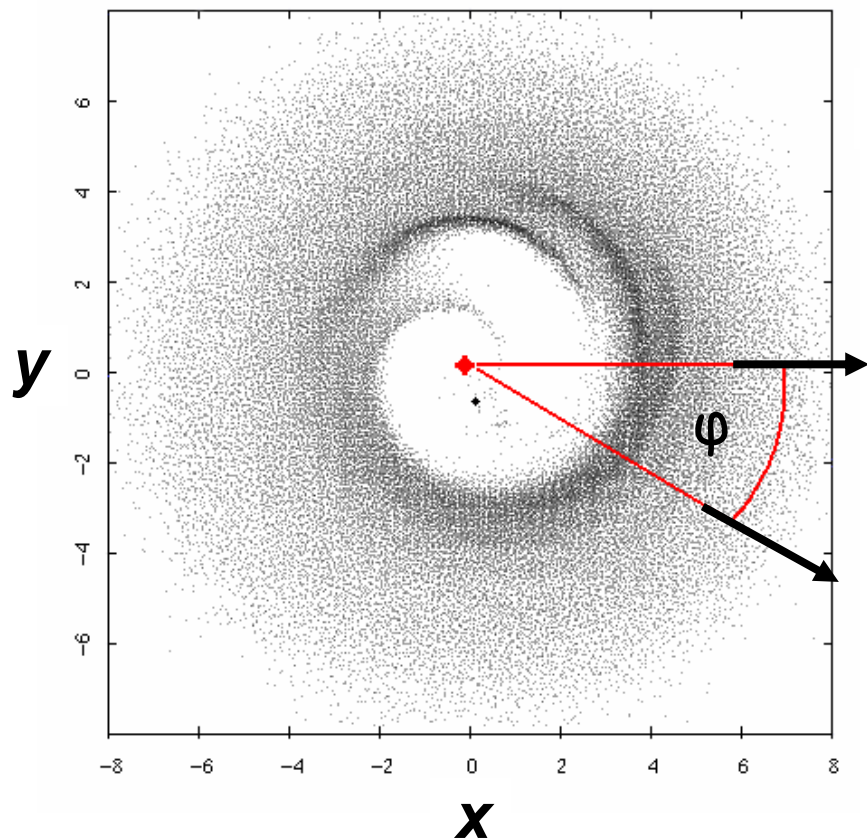
[впервые:  
Artymowicz, Lubow (1994)]

Сотникова, Гринин (2007)



### (3) Экстинция

## Определение экстинции Вариации лучевой концентрации $n(\varphi, i)$

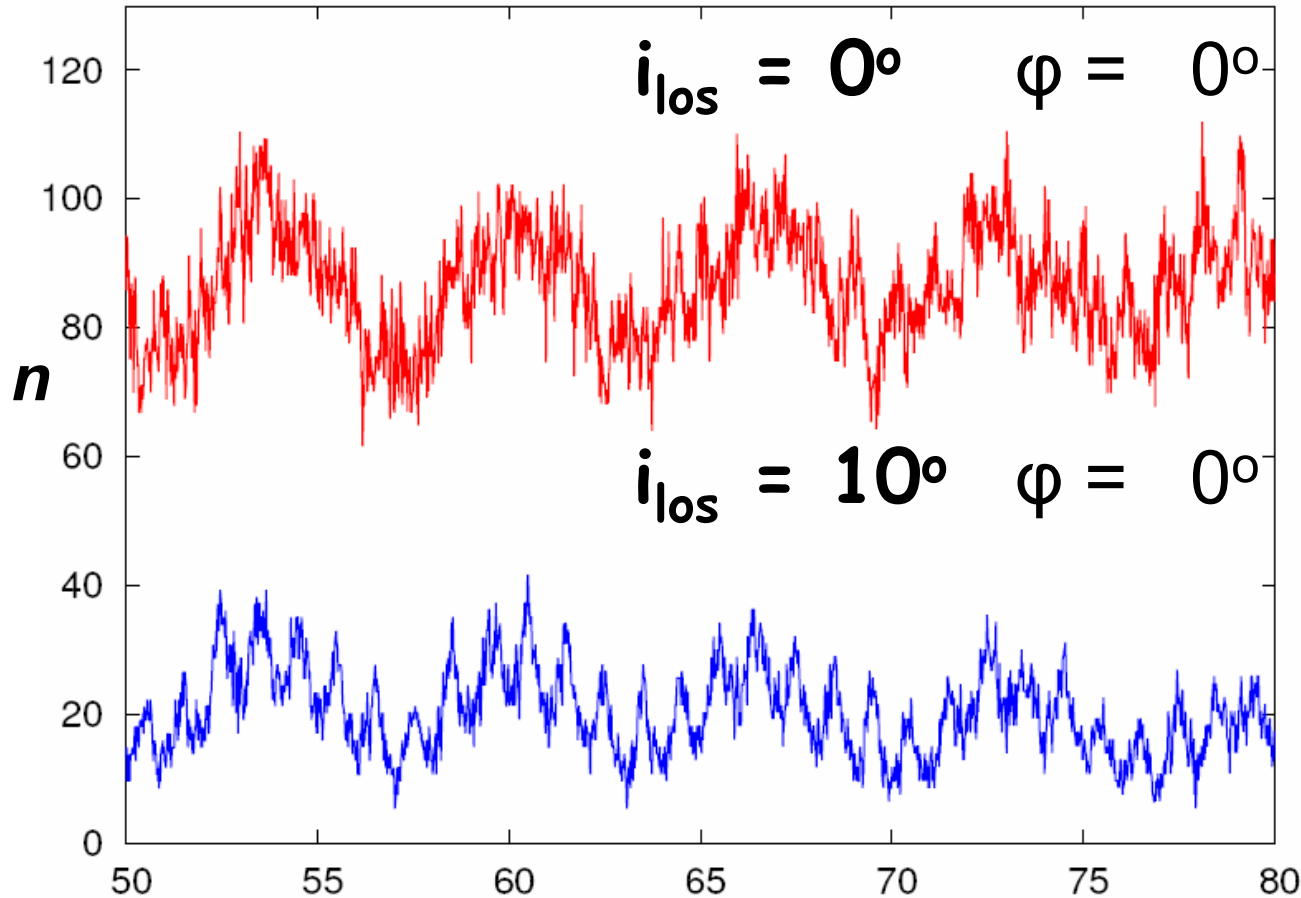


направление на апоцентр спутника

направление к наблюдателю

### (3) Экстинция

Орбитальный и "промежуточный периоды"  
(+зависимость от наклона орбиты к лучу зрения)



$$M_2 : M_1 = 1 : 2$$

$$e = 0.5$$

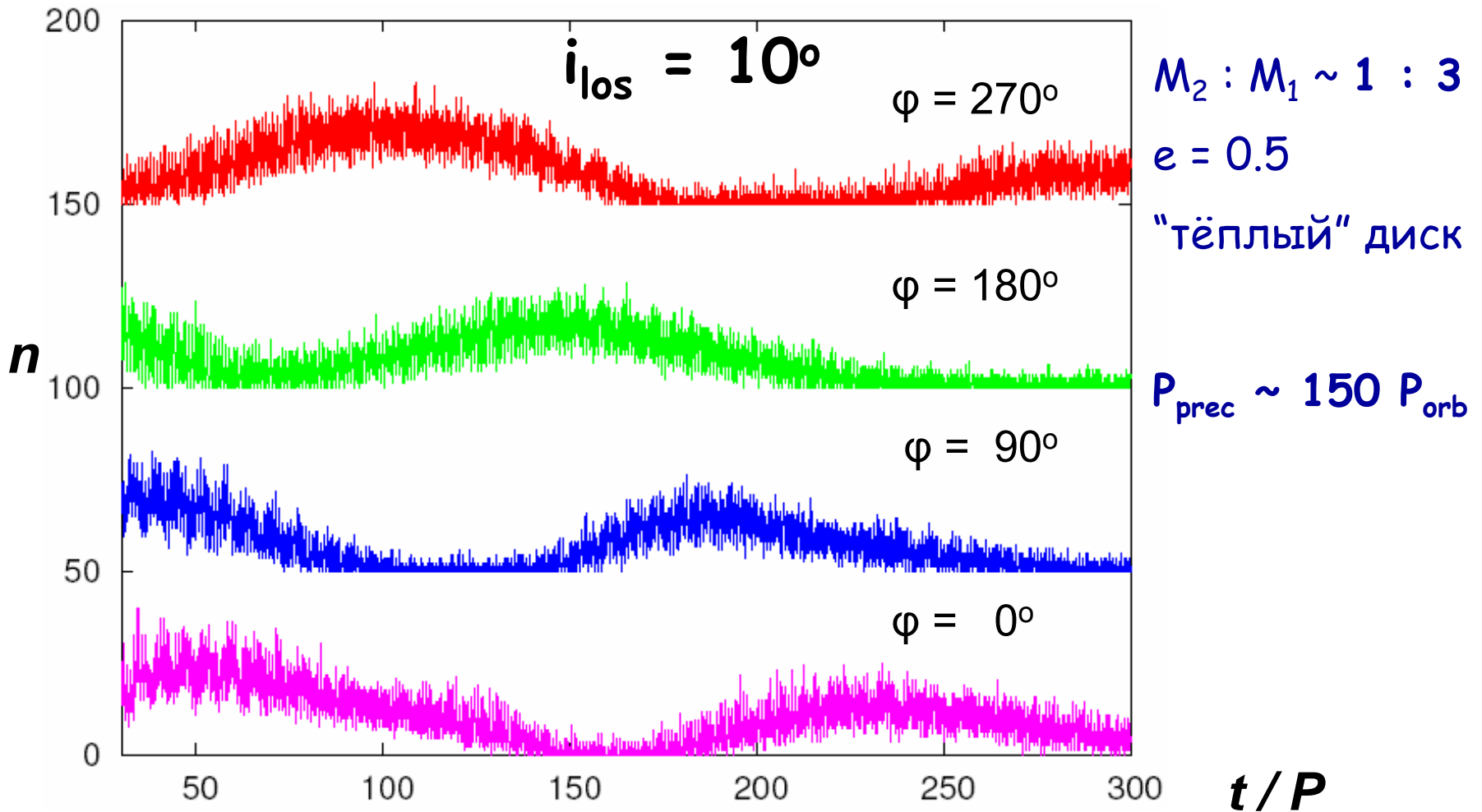
"тёплый" диск

$$P_1 = P_{\text{orb}}$$

$$P_2 : P_1 \sim 5-8$$

### (3) Экстинция

## Долгопериодические вариации



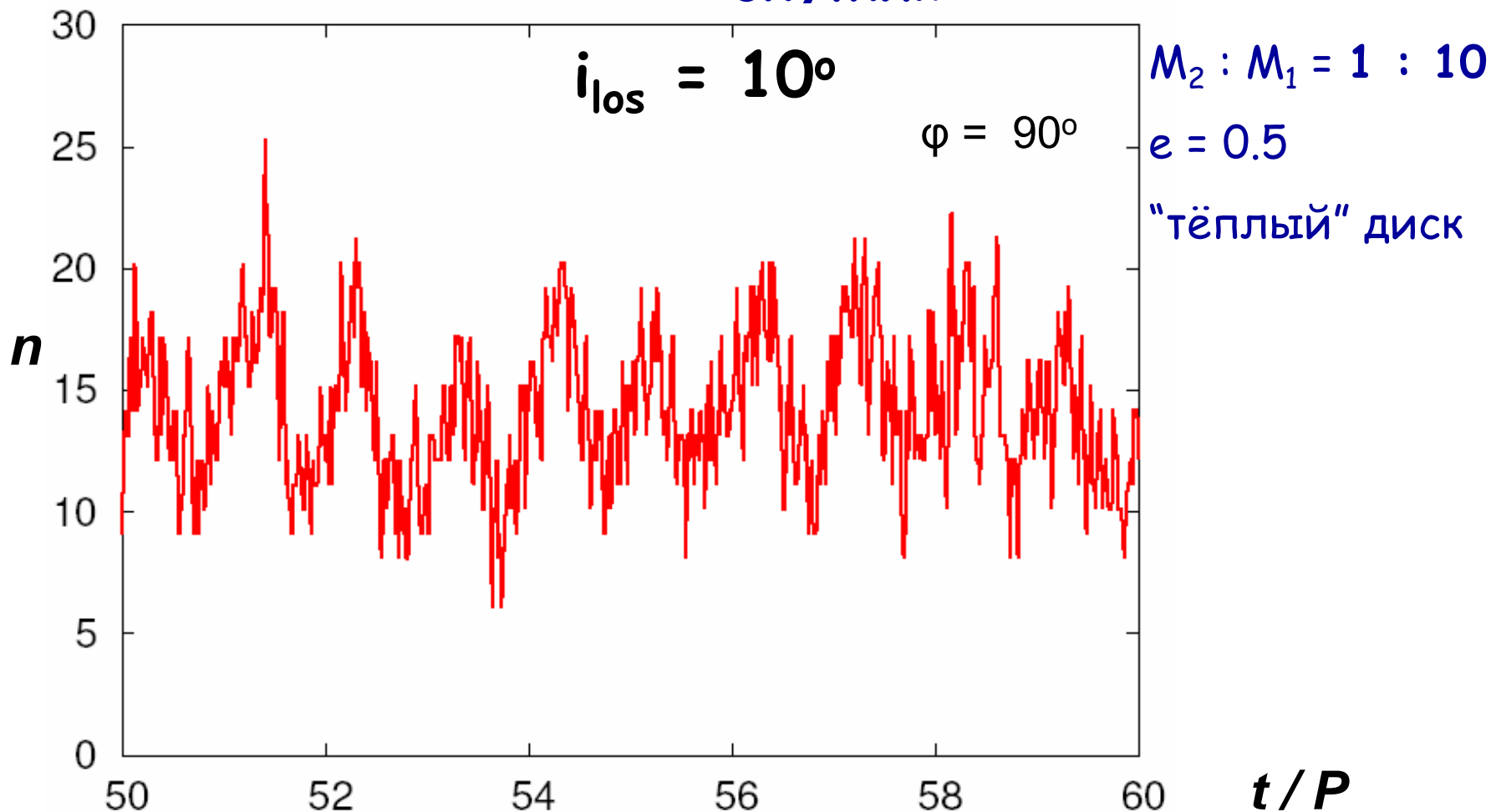
## (3) Экстинция

### Общие закономерности

- (1) Вековой период (прецессия) - круговые и вытянутые орбиты; отношение масс компонентов  $q = M_2/M_1 > 0.2$ ; тем длиннее, чем меньше вязкость.
- (2) "Промежуточный" период (движение вещества вблизи внутренней границы диска) - орбиты с большим эксцентриситетом, компоненты сравнимых масс.
- (3) Орбитальный период - во всех моделях; постоянная составляющая экстинции тем меньше, чем больше наклон орбиты к лучу зрения; относительные изменения экстинции в этом случае больше.

### (3) Экстинция

## Вариации лучевой концентрации - маломассивный спутник



## (4) Приложения

### Вариации потока - компоненты сравнимых масс (двойная волна)

$$M_2 / M_1 = 0.3$$

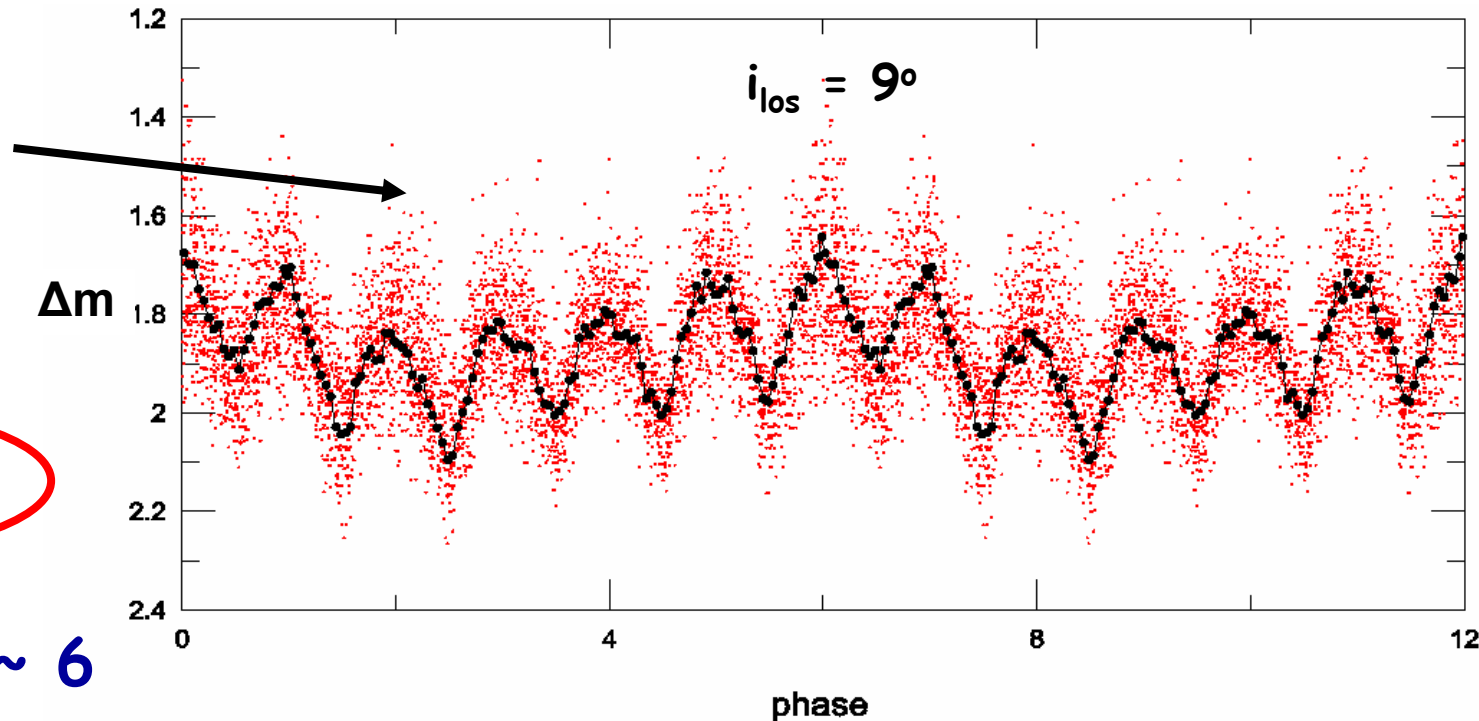
$$e = 0.5$$

"теплый" диск

V band

$$\Delta m \sim 1^m.0$$

$$\omega = P_2 : P_1 \sim 6$$



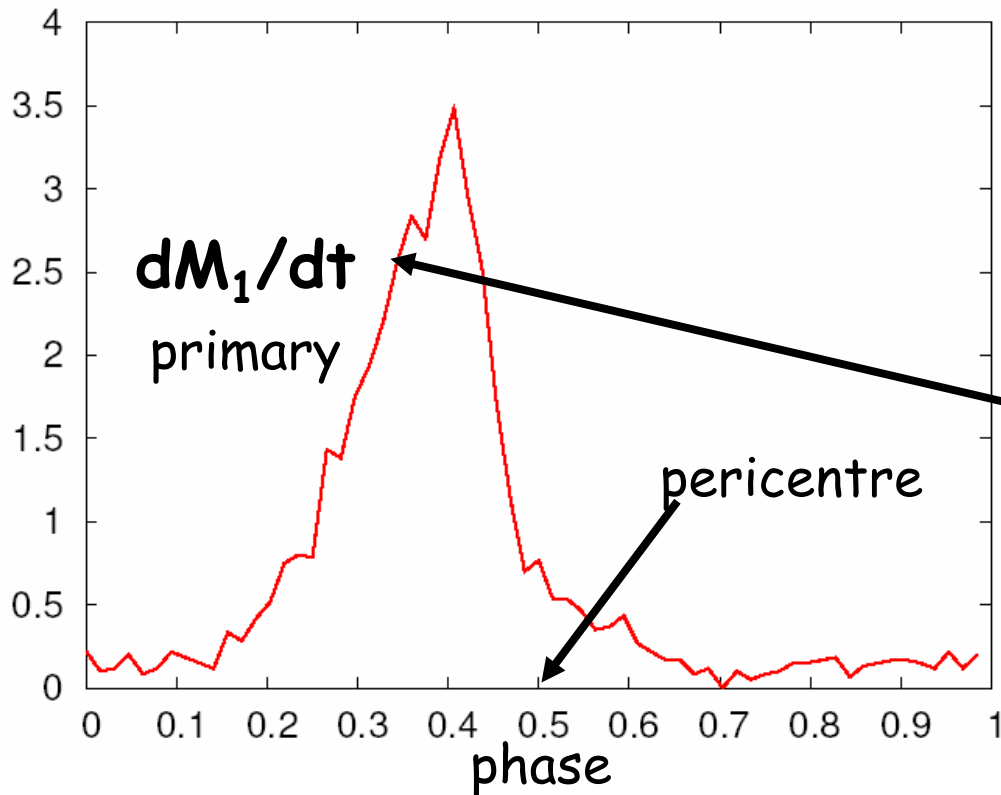
**CQ Tau:** Shakhovskoj et al. (2005)  $\omega \approx 7.5$

**SV Cep:** Rastopchina et al. (1999)  $\omega \approx 6.1$

## (4) Приложения

### Вариации потока - маломассивный компаньон

Темп аккреции - Artymowicz, Lubow (1996)



$$M_{\text{dust}} : M_{\text{gas}} = 1 : 100$$

$$\kappa = 250 \text{ g cm}^{-2}$$

(mass extinction coefficient)

$$dM/dt =$$

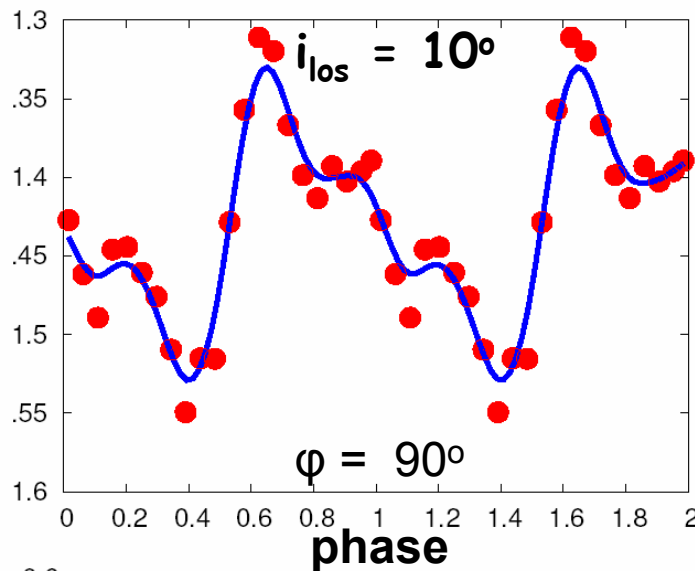
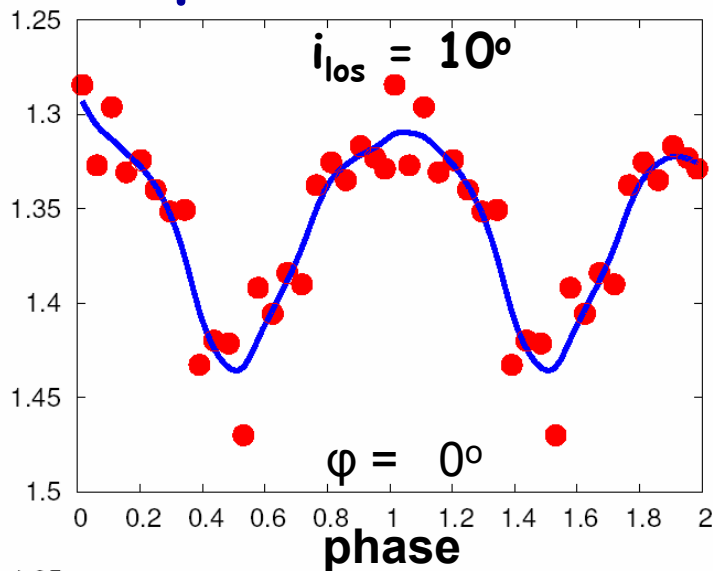
$$(10^{-10} - 10^{-9}) M_{\text{sun}} \text{ yr}^{-1}$$

$$M_2 : M_1 \sim 1 : 30$$

$e = 0.5$ , "тёплый" диск

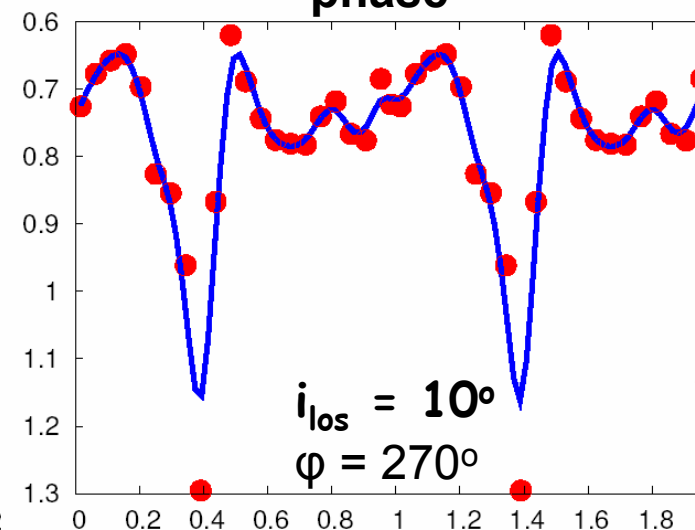
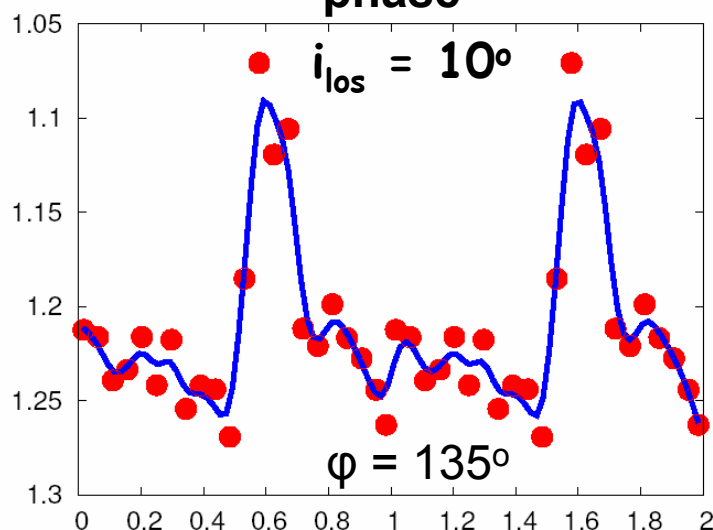
# (4) Приложения

## Вариации потока - маломассивный компаньон



$M_2/M_1 =$   
**0.03**  
 $e = 0.5$   
"тёплый"  
ДИСК

V band



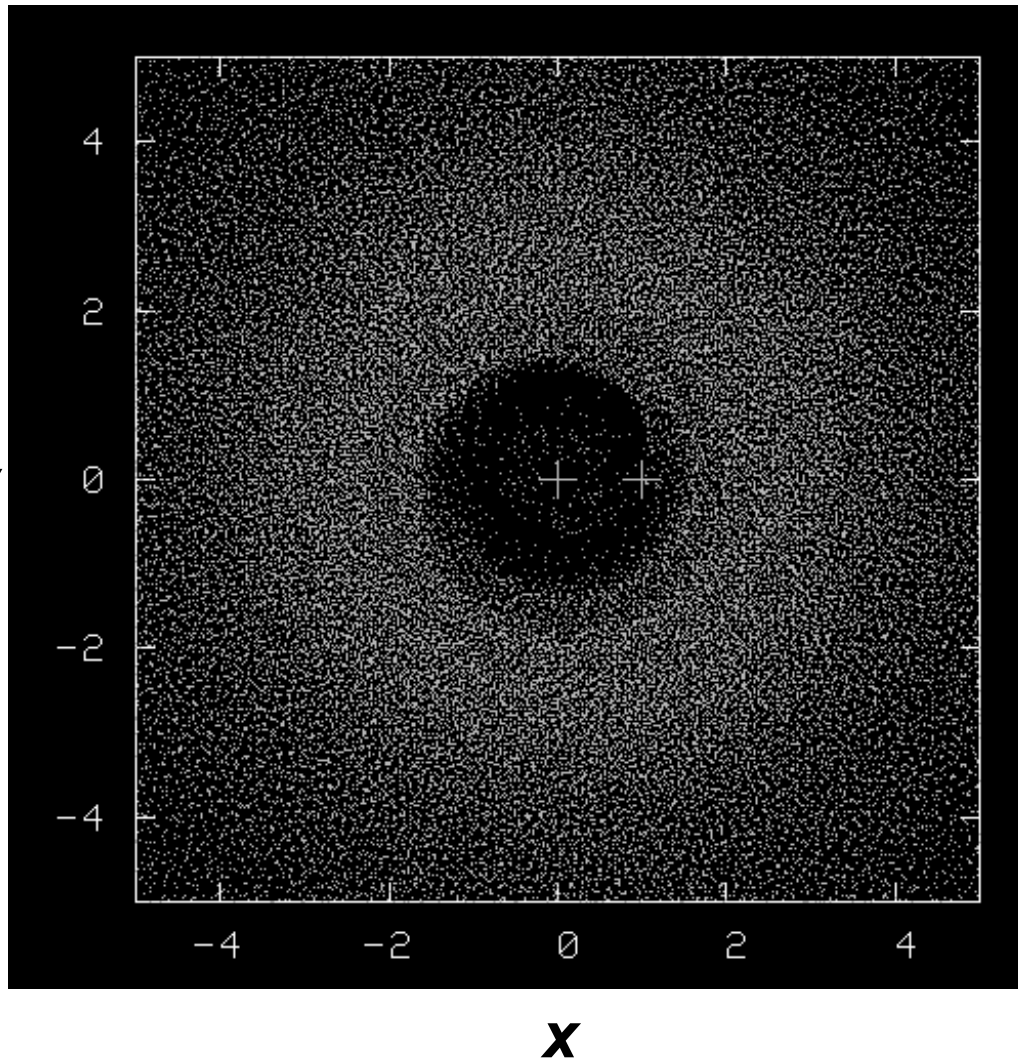
$M_{\text{accr}} =$   
 $10^{-9} M_{\text{sun}}/\text{yr}$

$\Delta m \sim$   
 $0^m.2 - 0^m.6$



## (4) Приложения

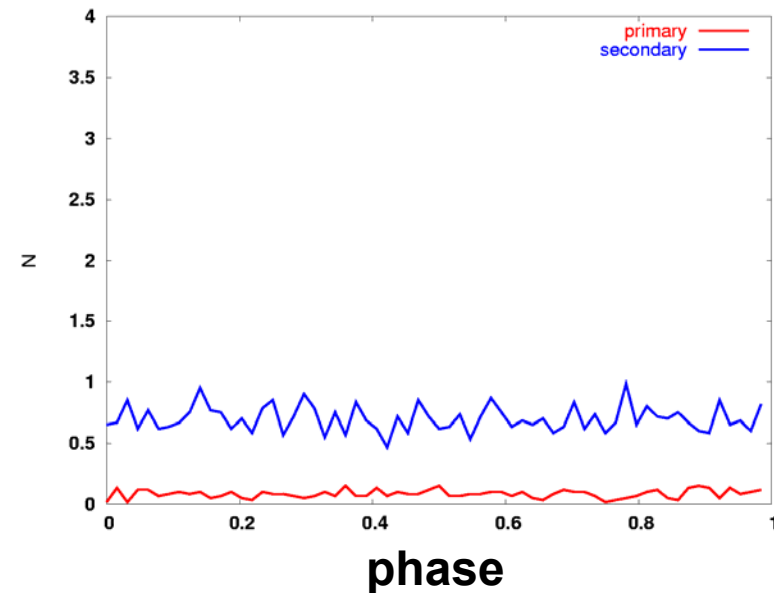
### Вариации потока - круговая орбита



$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

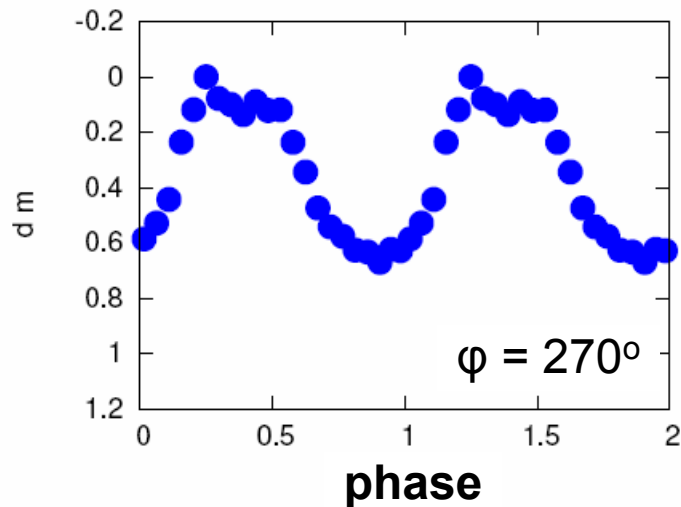
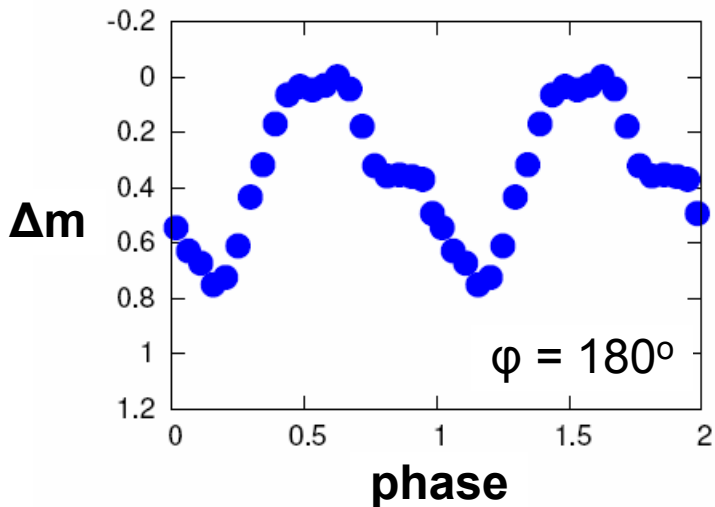
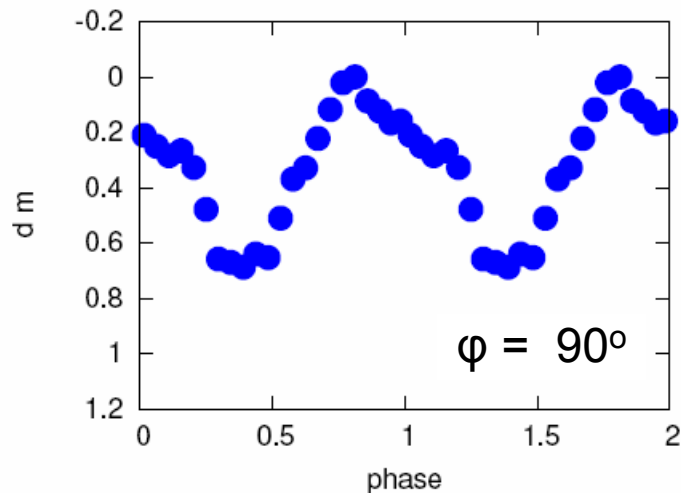
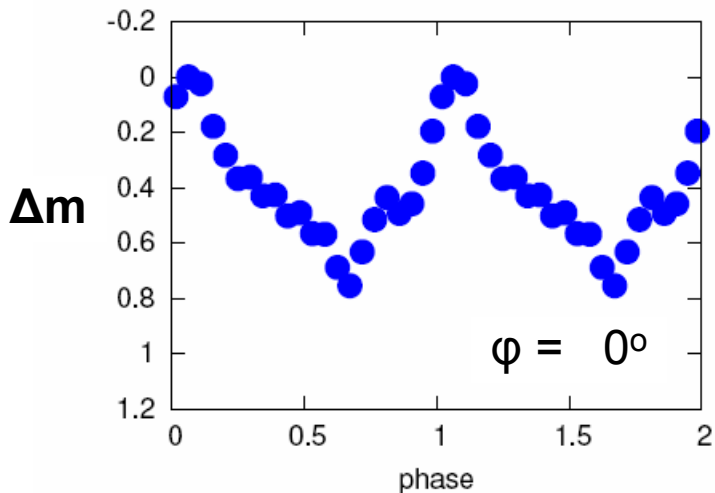
$$e = 0$$

"тёплый" диск



# (4) Приложения

## Вариации потока ( $i = 9^\circ$ )



$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

$$e = 0$$

"тёплый"

ДИСК

V band

$$M_{\text{accr}} =$$

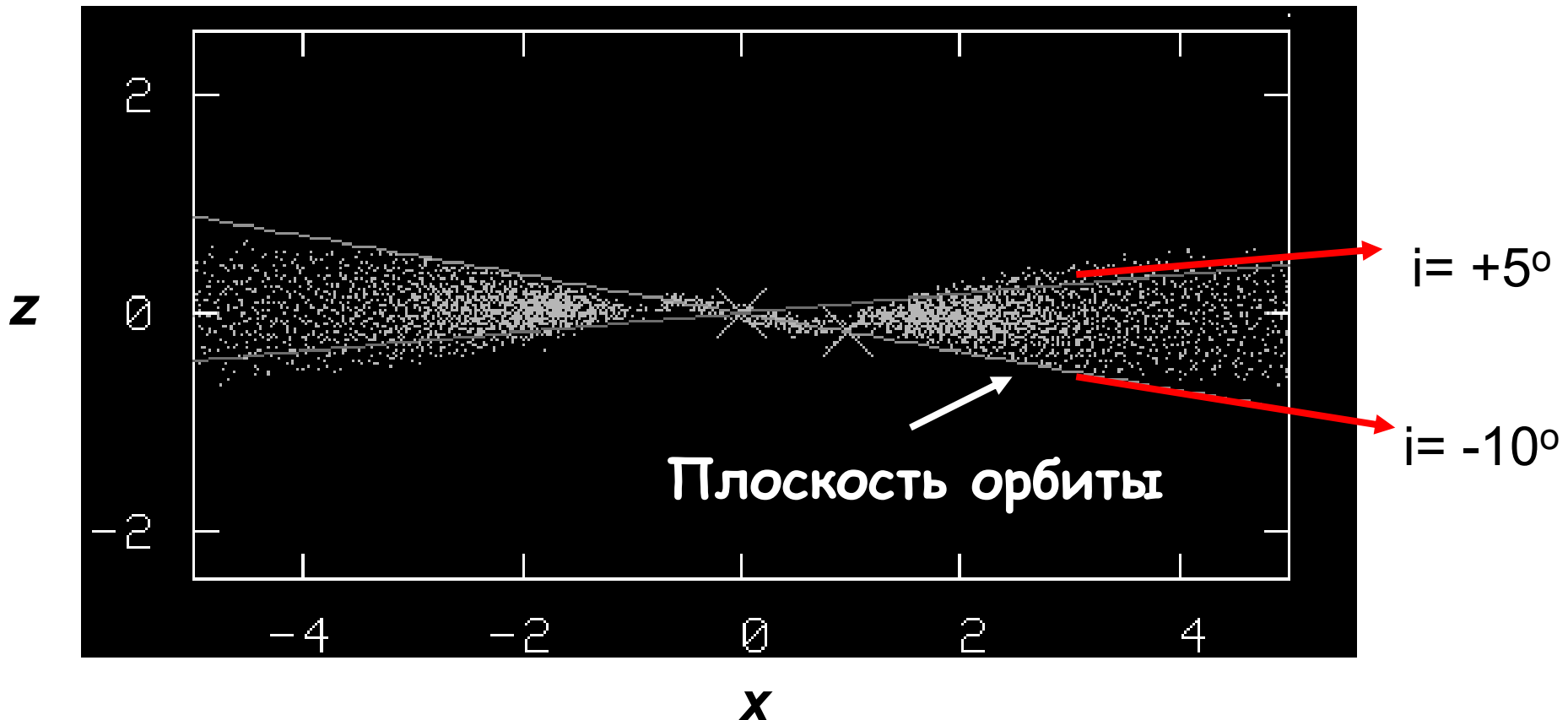
$$10^{-9} M_{\text{sun}}/\text{yr}$$

$$\Delta m > 0^m.5$$

## (4) Приложения

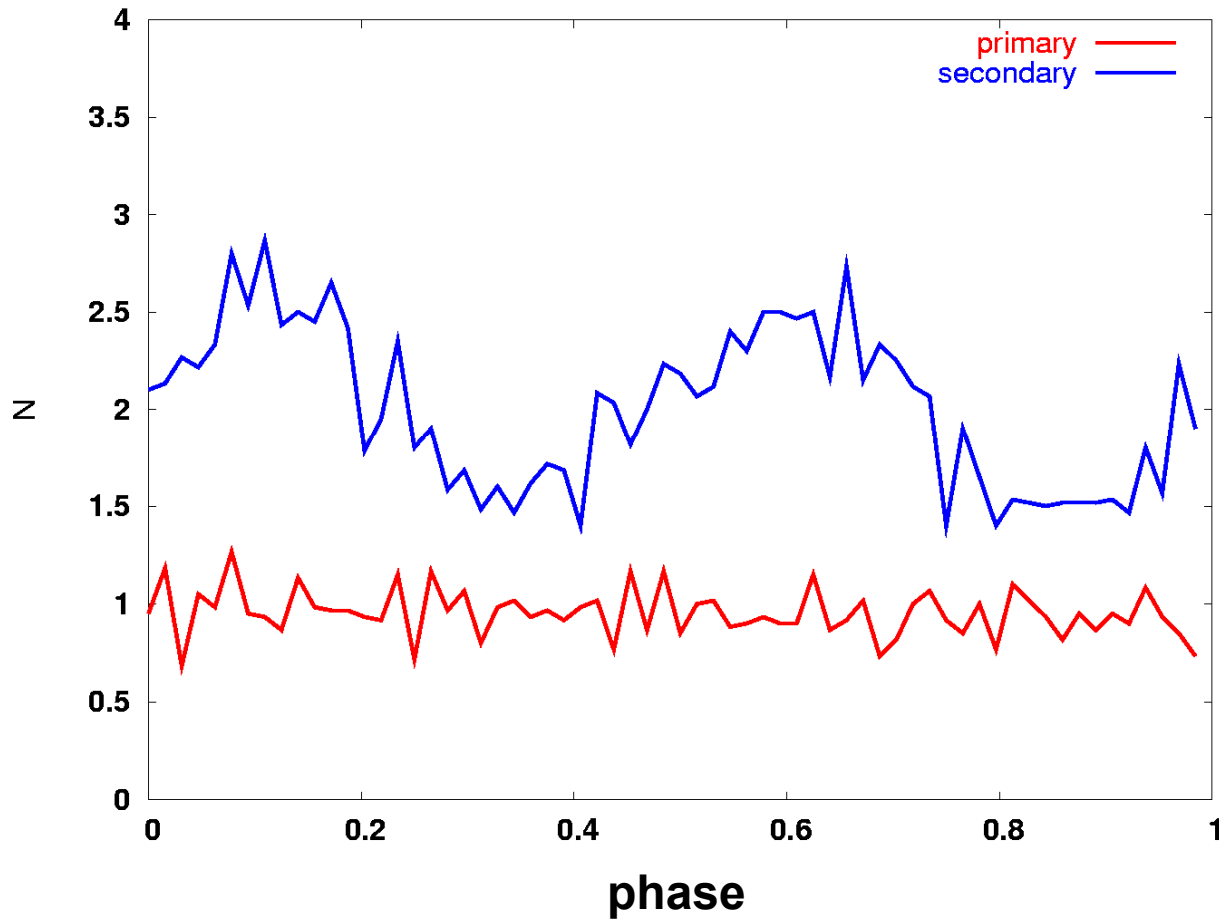
Вариации потока – круговая орбита, наклонный диск

$M_2/M_1 \sim 1:100$ ,  $e = 0$ , "тёплый" диск



## (4) Приложения

### Вариации потока – круговая орбита, наклонный диск



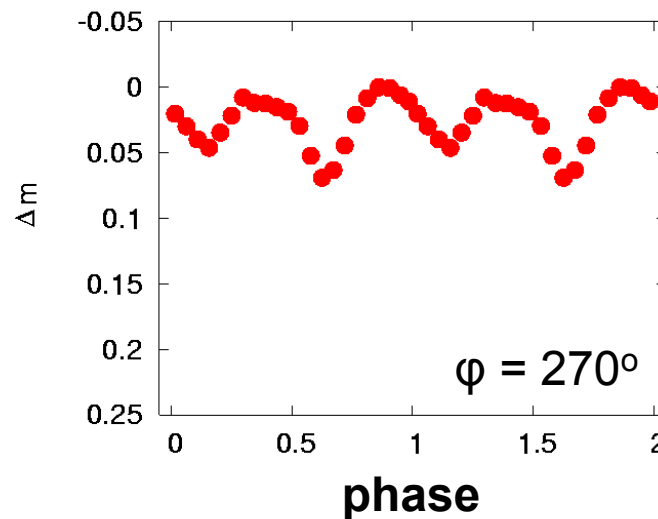
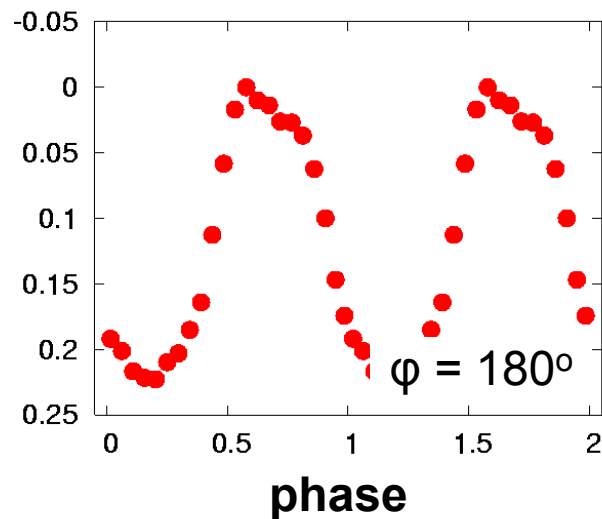
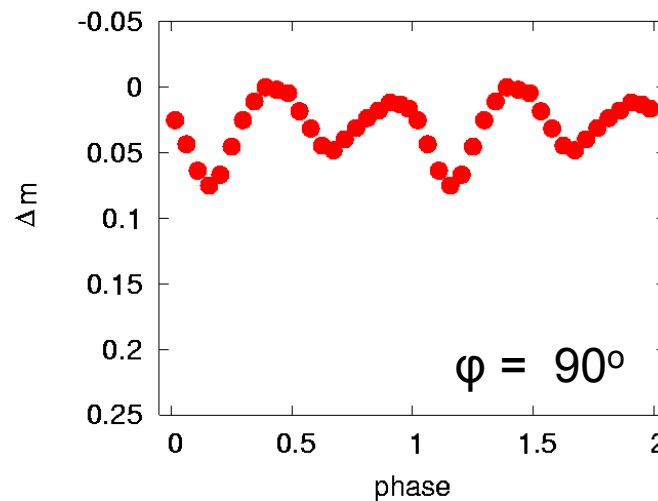
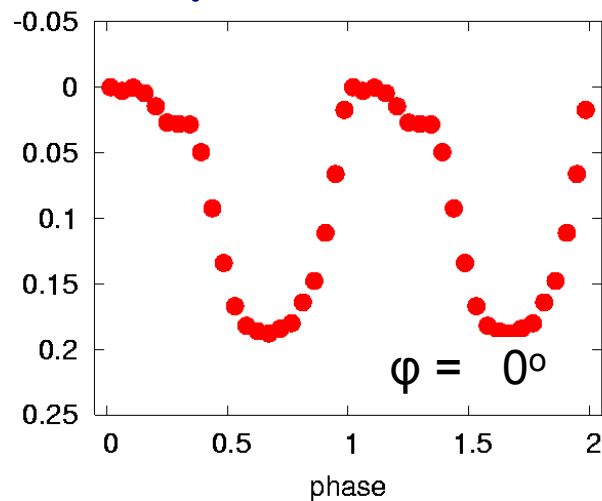
$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

$$e = 0$$

"тёплый" диск

# (4) Приложения

## Вариации потока - наклонный диск ( $i = +5^\circ$ )



$$M_2/M_1 \sim 1:100$$

$e = 0$   
(inclined)

"тёплый" диск

V band

$$M_{\text{accr}} = 10^{-10} M_{\text{sun}}/\text{yr}$$

$$\Delta m > 0^m.2$$

## (5) Заключение

- (1) При малых углах наклона СВ диска к лучу зрения наблюдаются периодические изменения лучевой концентрации газопылевого вещества в направлении на главный компонент.
- (2) В результате периодических изменений лучевой концентрации происходят периодические изменения экстинции и блеска главного компонента.  
В общем случае выделяются три периода.

- (3) При  $M_2 : M_1 > 0.3$  выделяется "двойная волна" на кривой блеска (орбитальный период -  $P_1$  и промежуточный период -  $P_2$ :  $P_2 / P_1 \sim 5-8$ ) как, например, у CQ Tau и SV Ser. Это может быть признаком двойственности системы.
- (4) При  $M_2 : M_1 < 0.03$  хорошо виден основной (орбитальный) период с амплитудой  $> 0^m.5$ . Такая модуляция может быть указанием на наличие маломассивного спутника.

## Main results:

Astronomy Letters 33, 594-603 (2007)

JENAM 2008, invited report

Astronomy Letters (?), in preparation (2009)

**Спасибо за внимание!**